长期生态学研究为滨海湿地保护提供科技支撑

韩广轩　宋维民　李培广　王晓杰　王光美　初小静

中国科学院烟台海岸带研究所 黄河三角洲滨海湿地生态试验站 烟台 264003

摘要　滨海湿地具有较高的生物多样性，是重要经济鱼类资源的产卵场、索饵场和越冬场，也为湿地鸟类提供食物和栖息环境，是地球上生态系统服务价值最高的生态系统类型。同时，滨海湿地也是人类活动最为集中的地区之一，已成为全球变化的生态脆弱带和环境变化敏感区。中国科学院黄河三角洲滨海湿地生态试验站（以下简称“黄河三角洲站”）围绕我国滨海和河口湿地环境保护与生态建设国家战略科技需求，致力于滨海湿地生态环境保护与可持续发展，以陆-海相互作用过程、湿地保护与可持续利用为主线，基于长期定位监测和野外控制试验，量化了滨海湿地生态系统碳汇现状、规律及其驱动机制，明确了水文过程与水盐运移对滨海湿地碳循环过程的影响；揭示了滨海湿地生态系统结构与功能对气候变化和人类活动的响应与适应规律；构建了退化滨海湿地生态修复技术体系，提出了“健康滨海湿地”理论与技术模式，研发了滨海湿地生态修复关键技术，实现滨海湿地保护与利用的协同发展，丰富和发展具有区域特色的滨海湿地生态学。这些研究成果不仅为黄河三角洲湿地生态保护与修复提供基础数据、科学依据和关键技术，弥补了我国特别是北方河口三角洲湿地长期观测研究的不足，也使得黄河三角洲站成为国内外无可替代的滨海湿地生态系统科学研究基地，为提升我国滨海与河口湿地研究的理论水平和促进区域可持续发展提供重要科技支撑平台。

关键词　滨海湿地生态系统，长期定位监测研究，碳汇功能，水盐运移，生态修复

DOI　10.16418/j.issn.1000-3045.20200117001

滨海湿地是介于陆地和海洋生态系统间复杂的自然综合体。由于地理位置特殊，滨海湿地具有丰富的生物多样性，是重要经济鱼类资源的产卵场、索饵场和越冬场，也是鸟类迁徙的重要越冬地和停歇地。滨海湿地具有物质生产、污染净化、抵御海啸和风暴潮灾害、造陆和固碳等多重生态服务功能[1]。黄河三角洲滨海湿地地处大河河口，因其独特的生态环境，得天独厚的自然条件，使黄河三角洲滨海湿地具有多样

资助项目：中国科学院战略性先导科技专项（A类）（XDA23050202），国家重点研发计划（2019YFD1002700）
修改稿收到日期：2020年2月12日

化的景观类型和丰富的湿地类型，是我国暖温带最完整的湿地生态系统。黄河三角洲湿地也是陆-海相互作用典型区和我国重点开发区。近年来，黄河三角洲滨海湿地演变剧烈，导致生态服务功能降低、生物多样性丧失等一系列问题。

中国科学院黄河三角洲滨海湿地生态试验站（以下简称“黄河三角洲站”）围绕我国滨海和河口湿地环境保护与生态建设国家战略科技需求，致力于滨海湿地生态环境保护与可持续发展，以陆-海相互作用过程、湿地保护与可持续利用为主线，以长期稳定观测与监测、科学研究、示范与服务为目标，重点研究陆-海相互作用下湿地生态系统物质运移与动力学机制，滨海湿地生态系统演变过程、稳定性与驱动机制，退化滨海湿地生态修复与生物多样性保护，以及滨海湿地保护与合理利用对策，为提升我国滨海和河口湿地研究的国际化理论水平和促进区域可持续发展提供科技支撑平台。

1 黄河三角洲湿地长期定位监测体系

针对黄河三角洲陆-海相互作用强烈、陆-海过渡带明显、湿地类型多样等特点，黄河三角洲站建立了长期定位监测体系，由海洋到陆地建立了不同湿地类型定位观测场，与大气观测网络、地下水盐观测网络构成湿地长期定位监测体系（图 1），实现对黄河三角洲湿地环境、生态、资源、灾害等数据进行综合立体连续观测。

（1）建立了河口/近海、潮汐湿地、非潮汐湿地和盐碱地农田 4 个地表观测场。基于长期定位观测，重点研究黄河三角洲湿地元素生物地球化学过程，滨海湿地物种组成、结构、功能演变过程及其调控机制；湿地生态过程与陆-海界面物质通量的相互关系；滨海湿地生态水文过程与生态需水阈值；滨海湿地主要生态过程对全球变化的响应。

（2）建成了 12 个滨海湿地与气候变化野外控制试验平台。包括潮汐湿地增温、潮汐氮输入、非潮汐湿地增温、降雨量增减、春季降雨分配、季节性气候变化、氮沉降、氮磷养分添加、刈割和凋落物清除等野外控制试验平台（图 2）。用以模拟单因子和多因子气候变化对滨海湿地结构与功能的影响，研究滨海湿地对全球气候变化的响应和适应机制。

（3）建成了黄河三角洲湿地常规监测数据库和基础地理信息数据库。基于黄河三角洲湿地长期定位监测体系，按照中国生态系统研究网络（CERN）长期监测规范，建立了湿地监测指标体系和常规监测数据库；数据库涵盖“滨海湿地水、土、气、生、碳通量和近海水文水质”6 个方向数据资料，已有数据 100 多万条。黄河三角洲基础地理信息数据库涵盖河道和沟渠演变数据、土壤环境因子空间分布、滨海湿地优势种潜在分布、滨海湿地脆弱性评估指标体系、石油烃分布及污染源解析、重金属空间分布及风险评估、近岸海域主导功能分区、滨海湿地生态红线区、海岸线分级管控与自然岸线格局等多个方向的信息数据。

（4）建成了我国第一个区域综合性滨海湿地生物多样性信息系统网站[①]。该信息系统包括维管植物（382 种）、底栖动物（23 种）、鸟类（367 种）、昆虫、鱼类、两栖爬行类和哺乳动物等编目数据，以及生态环境专题图件图片数据库和湿地基础知识数据库等，为科学研究、保护管理、民众旅游与科普教育提供信息保障与数据支持。

2 滨海湿地碳交换规律及其机制

滨海湿地富含土壤有机碳，其土壤有机质分解率低，并且能够捕获和掩埋大量有机碳。因此，滨海湿地被认为是全球重要的碳汇，也是全球“蓝碳”资源的重要贡献者。黄河三角洲站建立了潮汐湿地、非潮

① http://yrdbd.yic.ac.cn/.

汐湿地和盐碱地农田等综合观测场，还先后建成模拟增温、潮汐氮输入、降雨量增减、季节性气候变化等系列长期控制试验。集成分析长期监测资料和实验数据，在滨海湿地生态系统碳交换规律及机理方面取得了一系列理论成果。

基于8年的连续定位观测，阐明了黄河三角洲滨海湿地生态系统碳交换的日、季节和年际变化规律，定量评估了滨海湿地的碳源汇功能。潮汐作用作为滨海湿地最基本的水文特征，也是影响滨海湿地碳交换过程的关键因素。利用小波分析技术发现了潮汐作用在多日尺度和季节尺度上对于滨海湿地的生态系统 CO_2 交换过程具有显著影响（图3）。此外，周期性的潮汐淹水过程使得滨海湿地土壤和植被交替浸没于潮水或暴露在大气中，因此，滨海湿地生态系统 CO_2 和 CH_4 交换随着潮汐淹水不同阶段的交替进行而发生变化[2]。

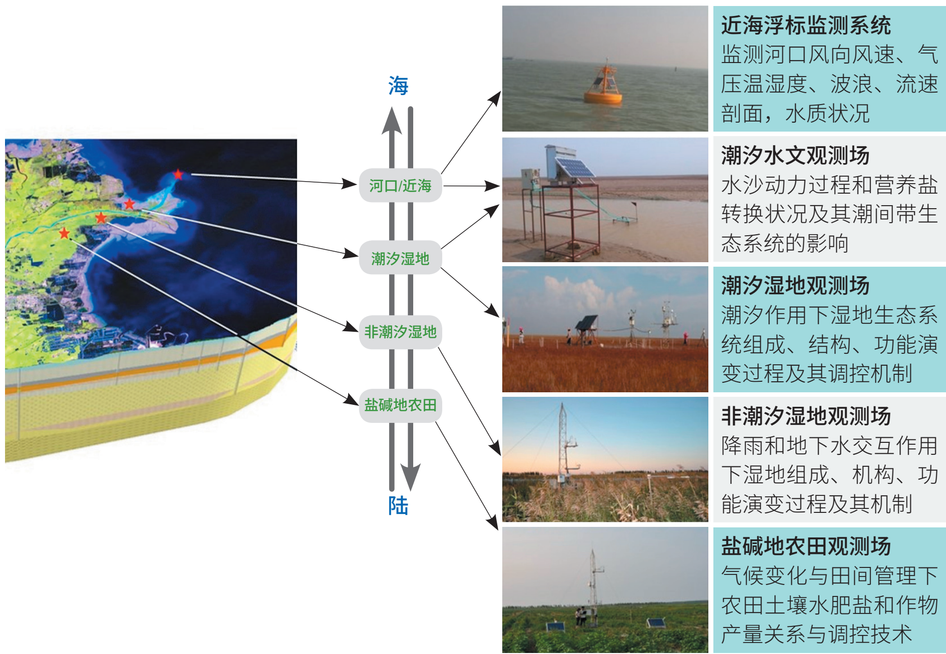


图1　黄河三角洲湿地长期定位观测场布设



图2　黄河三角洲湿地野外控制试验平台

在全球变暖背景下，降雨分配导致的干旱或者季节性积水会通过改变土壤及大气环境，调控植被生理代谢过程，进而影响滨海湿地的“蓝碳”功能。定位监测发现，在植被快速生长期，由于降雨少、蒸发量大，干旱导致的盐胁迫降低植被的光合强度，对碳吸收产生抑制作用；在植被生长中期，受降雨以及浅地下水位影响，强降雨导致的淹水胁迫降低植被光合作用和自养呼吸，最终对碳吸收产生抑制作用[3,4]。长期监测（2011—2018年）表明，黄河三角洲盐地碱蓬湿地年均固碳能力为51.7±9.7 g C m^{-2}；植物生长前期的降雨量通过影响水盐运移控制植被萌发生长进而影响植物生物量累积[5]，成为影响年际间净生态系统 CO_2 交换（NEE）波动的主控因子（图4）。

由于受浅层地下水位的影响，即使没有降水，滨

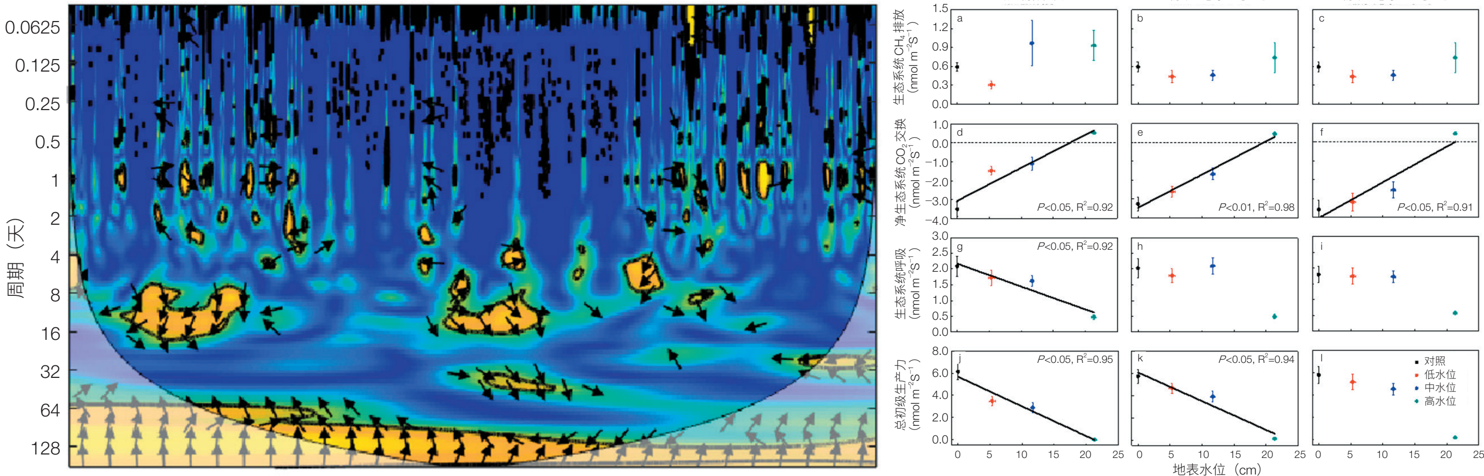


图 3　潮汐作用对滨海湿地碳交换过程的影响

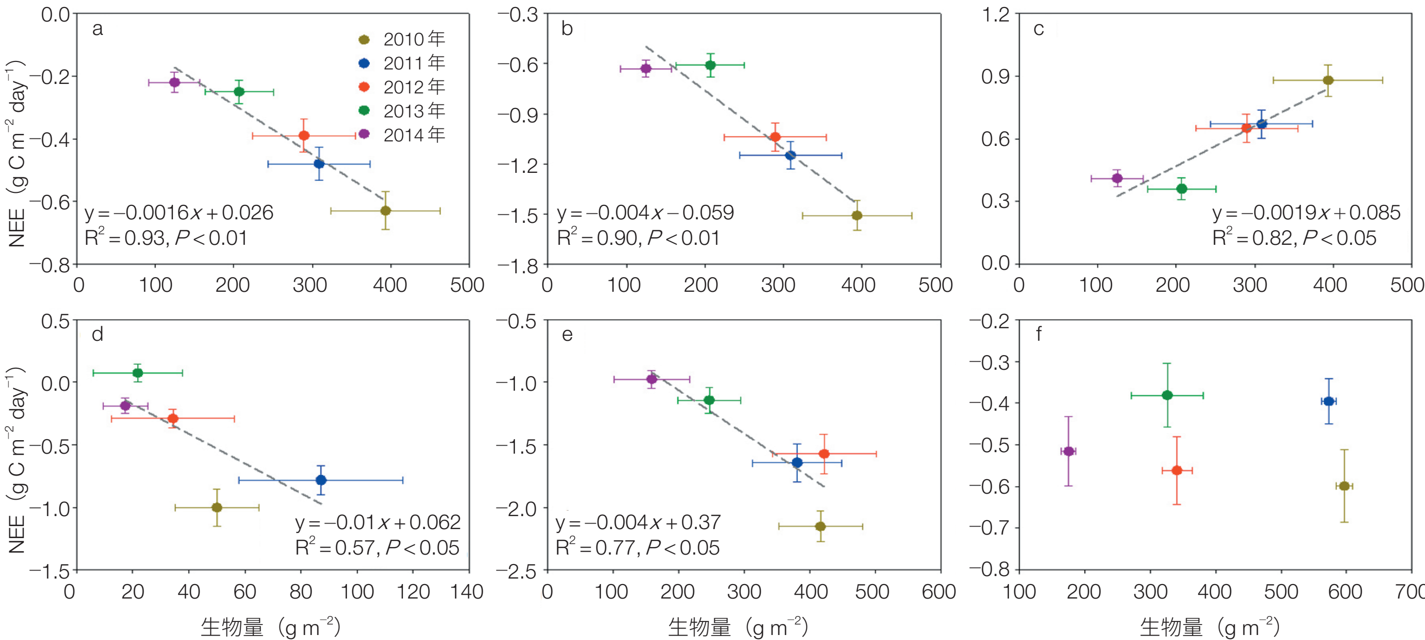


图 4　滨海湿地净生态系统 CO_2 交换（NEE）与生物量的相关性

（a）全年；（b）生长季；（c）非生长季；（d）生长早期；（e）生长中期；（f）生长末期

海湿地土壤水分也相对较高。当降水发生时，土壤迅速饱和，形成厌氧条件，减少土壤有机碳分解。基于连续 4 年的土壤呼吸自动化监测数据，揭示了降雨脉冲对滨海湿地土壤碳排放的影响机制。即使小的降雨事件也会通过增加土壤水分而迅速降低土壤呼吸。此外，在缺氧条件下，大量硫酸盐输入和高盐度抑制了滨海湿地 CH_4 的产生和排放。因此，降水事件可通过增加滨海湿地土壤水分和诱发土壤缺氧条件，限制根系和微生物的氧利用度和生物活性，进而抑制土壤有机碳分解[6]。这些研究为预测未来极端降雨事件对湿地碳收支的影响及其反馈机制提供数据支持和理论依据。

另外，尽管越来越多的证据表明，土壤呼吸与地上部分的植物光合作用有着密切联系，但是对于光合作用如何控制土壤呼吸及两者之间的时间间隔尚未得到很好的诠释和阐明。基于滨海湿地生态系统光合作

用与土壤呼吸作用的同步观测，揭示了植被群落和植物光合作用对湿地土壤呼吸的影响机制，发现植物冠层光合作用在日尺度上对土壤呼吸的动态变化具有明显的调节作用[7]（图 5）。因此，在中短期时间尺度上，要准确模拟土壤呼吸的通量和动态变化，必须考虑植物冠层光合作用的控制作用。这些研究为科学解释地上部分生产力对地下部分碳过程的控制机理提供了理论和实证依据。

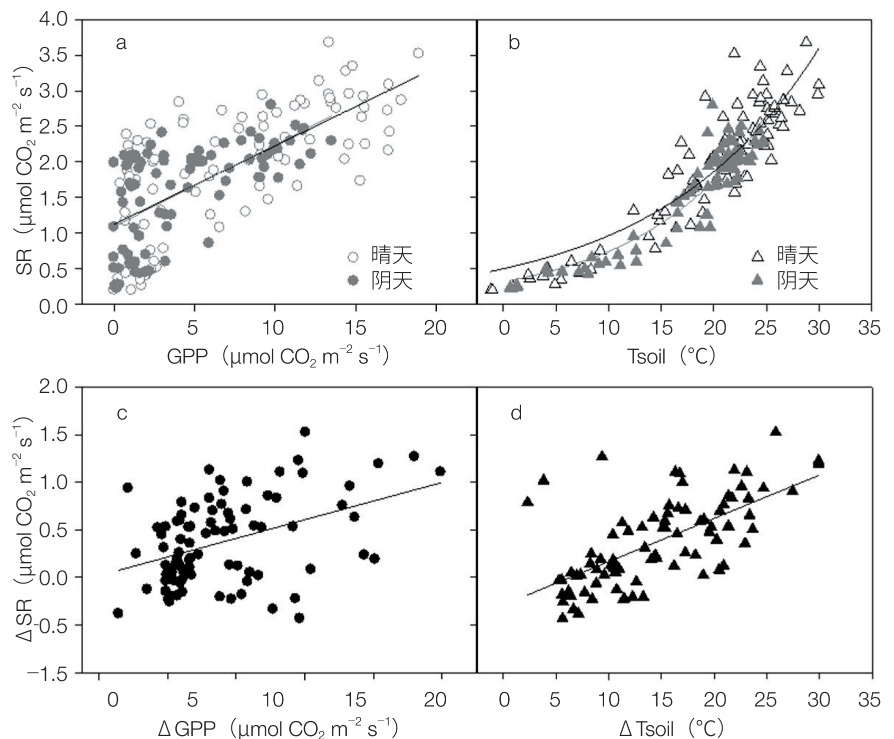


图 5　湿地土壤呼吸与生态系统总初级生产力和土壤温度的相关关系

（a）阴晴天条件下 SR 与 GPP 的关系；（b）阴晴天条件下 SR 与 Tsoil 的关系；（c）阴晴天 SR 差值与 GPP 差值的关系；（d）阴晴天 SR 差值与 Tsoil 差值的关系；SR：土壤呼吸；GPP：总初级生产力；Tsoil：土壤温度

3 滨海湿地对气候变化的响应

研究阐明了近 40 年黄河三角洲滨海湿地景观演变过程及其驱动机制，结合优势种群的潜在分布和现实分布对滨海湿地进行景观优化，划出了乔木和灌草的用地红线，在宏观上和空间上对黄河三角洲滨海湿地恢复和重建提供技术保障和决策支持（图 6）。近 40 年黄河三角洲自然湿地总体上呈退化趋势，人工湿地和非湿地面积增加；黄河三角洲湿地景观的破碎化程度不断加重，斑块类型向多样化、均匀性发展；滩涂开发、围填海活动和水利工程等是导致黄河三角洲滨海湿地退化的主要因素[8]。

研究揭示了近 30 年黄河三角洲岸线与面积演变过程及其驱动机制，黄河流域降水量的年际波动与黄河利津水文站入海输沙量年际波动保持着同步性和相关性，说明黄河流域降水量的年际波动是引起入海径流量和输沙量波动的重要原因[9]。根据黄河三角洲滨海湿地景观中优势植物群落潜在分布模拟（图 7）、现实分布、土地利用、干扰等级和社会经济状况分布的叠加，从空间布局上对滨海湿地进行了景观优化，在宏观上和空间上对黄河三角洲滨海湿地恢复和重建提供技术保障和决策支持[10]。

全球变化和人类活动导致物种生境的萎缩，造成很多植物种群数量缩减，遗传多样性快速丧失。系统分析了黄河三角洲滨海湿地入侵物种互花米草种群和本地种芦苇种群的遗传多样性。研究发现，互花米草扩散顺序与地理距离不相关，说明其种子通过海水传播可以实现“跳跃式”长距离扩散，这为外来物种入侵机制及植被的保育提供科学参考。另外，滨海湿地植物物种间谱系关系显著影响种间作用，随着种间谱系距离的增大，物种竞争作用减少，促进作用增强；在黄河三角洲芦苇盐沼湿地，中高环境压力下种间促进关系更明显[11,12]。该规律可以应用于滨海湿地稀有物种保护以及物种多样性的恢复。

大气氮沉降增加对滨海湿地生态系统功能产生了显著影响。连续 5 年的野外控制试验表明，氮沉降量的增加显著提高黄河三角洲芦苇盐沼湿地土壤酶活

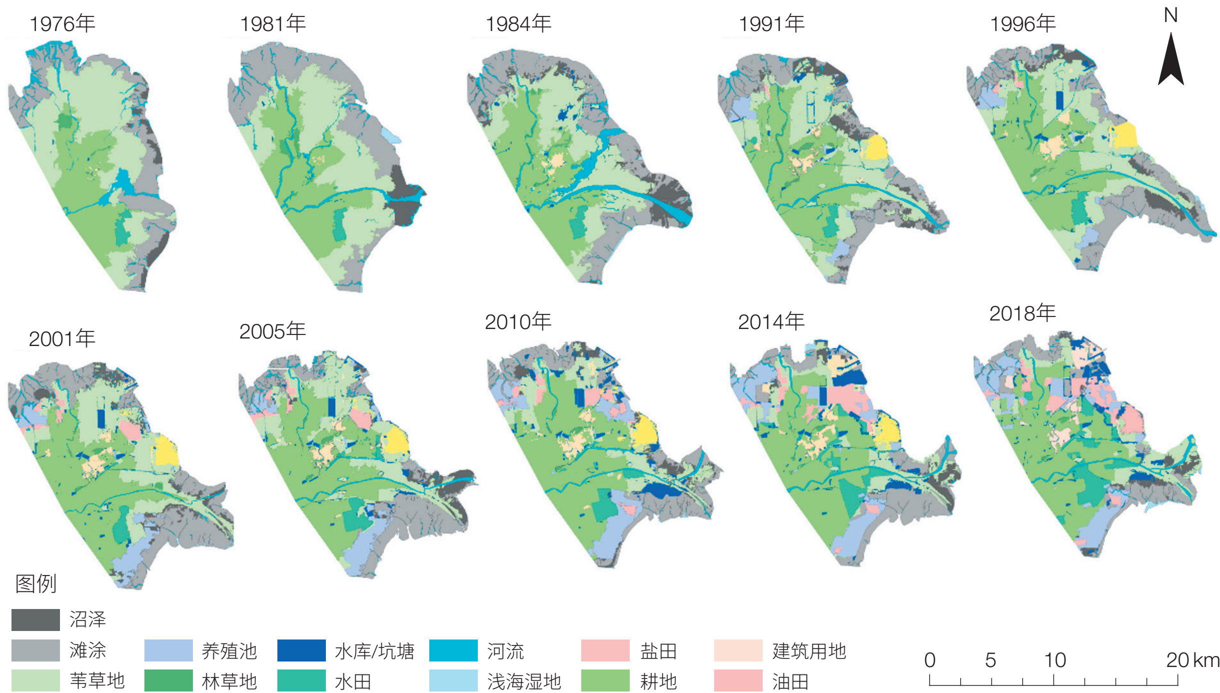


图 6　1976—2018 年黄河三角洲湿地景观演变

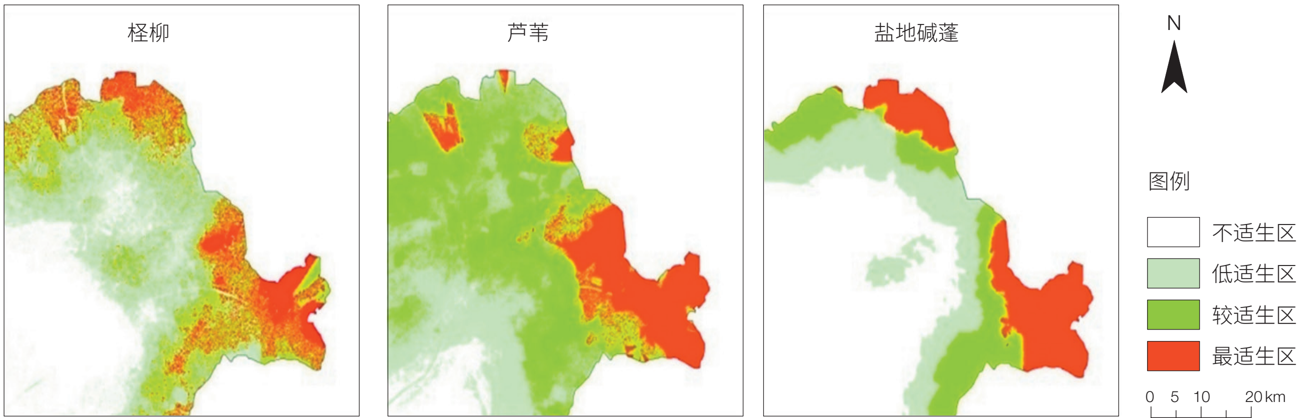


图 7　黄河三角洲优势植物群落物种潜在分布图

性，促进了芦苇株高和生产力的提高（图 8），土壤表层盐分含量显著降低，进而改善盐碱化芦苇湿地生态系统的功能[13]。基于连续 4 年的氮、磷添加试验，发现氮、磷供给量和供应比例对土壤无机氮、速效磷浓度和氮磷比值均有显著影响，而物种重要值和植物多样性仅受供应总量显著影响；同时，磷素对植物群落的影响尤为重要[14]。

*黄河尾闾改变也是三角洲滨海湿地演变的重要驱动力。*研究发现黄河改道对地表植被产生了显著的影响，但与地表植被相比，新旧河道土壤种子库具有相似性，这说明黄河故道土壤种子库对于外界干扰特别是水盐的干扰具有一定程度的耐受性（图 9）。黄河改道后，废弃河道受到海水的影响加剧，导致植被群落发生退化，但其土壤种子库中仍然蕴藏丰富的种质资源[15]。

*在植物逆境适应的生理机制方面。*发现盐胁迫诱导植物根系脱落酸（ABA）合成，但盐胁迫下抑制根系 ABA 合成影响根系钠离子外排，导致叶片钠离子

积累量增多，诱发离子毒害，造成叶片氧化损伤，其表现为叶片过氧化氢与丙二醛含量的上升[16]。另外，探讨了淹水胁迫对植物光合作用和光合机构的影响（图 10）。淹水处理首先引起光合作用的气孔限制，降低光合速率，反馈抑制光合电子传递，诱发光合机构的光抑制。同时，免疫印迹结果表明淹水胁迫导致了光合系统核蛋白量的损失，证实了淹水胁迫下植物光合系统光抑制的发生[17]。

4 退化滨海湿地生态修复与示范

针对生境类型单一导致的生物多样性丧失、生态系统服务功能削弱问题，依据生态位原理与生物多样性理论，构建了基于微生境营造-水位调控的严重盐碱化退化湿地的修复技术体系和健康滨海湿地模式（图11）。在黄河三角洲建立了 67 公顷湿地生态修复示范区，有效提高了植被覆盖度，丰富了微生境类型，提升了底栖动物、鱼类和鸟类生物多样性，实现了景观效果与生态系统功能同步提升[10]。黄河三角洲国家级自然保护区管理局以该技术模式为依据，提出了《黄河三角洲国际重要湿地生物多样性保护工程实施方案》，修复示范区面积 3 200 公顷，总投资 1 亿多元。相关技术及成果得到中国科学院院长白春礼的批示。依托该技术体系，黄河三角洲站 2019 年承担了中国科学院战略性先导科技专项（A类）“美丽中国生态文明建设科技工程”中的子任务“健康滨海湿地构建关键技术与工程示范”，目前已建成示范区 670 公顷。

互花米草的迅速扩张对黄河三角洲潮间带生态系统造成严重威胁。率先揭示了互花米草入侵黄河口盐沼湿地的机制，发现互花米草扩散在不同时间和空间上的选择策略不同，种子扩散是互花米草入侵新区域的主要途径，而无性繁殖是成熟互花米草群落维持的主要繁殖方式[18]。在此基础上，探索出互花米草综合治理措施，即同时限制互花米草的生长、有性繁殖和无性繁殖，从而达到控制互花米草扩散或清除的目的[18]，构建了互花米草治理技术体系并建立了示范区（图 12）。

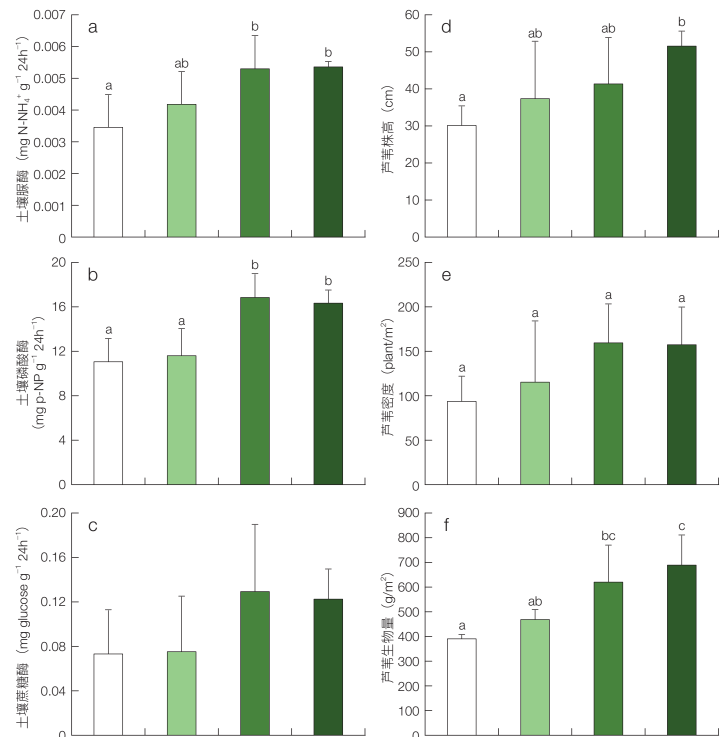


图 8　不同氮沉降量对土壤酶活性及芦苇生态特征的影响

（a）对土壤脲酶活性的影响；（b）对土壤磷酸酶活性的影响；（c）对土壤蔗糖酶活性的影响；（d）不同氮沉降量对芦苇株高的影响；（e）对芦苇密度的影响；（f）对芦苇生物量的影响；CK 为对照组，N1、N2、N3 代表低、中、高氮沉降添加量

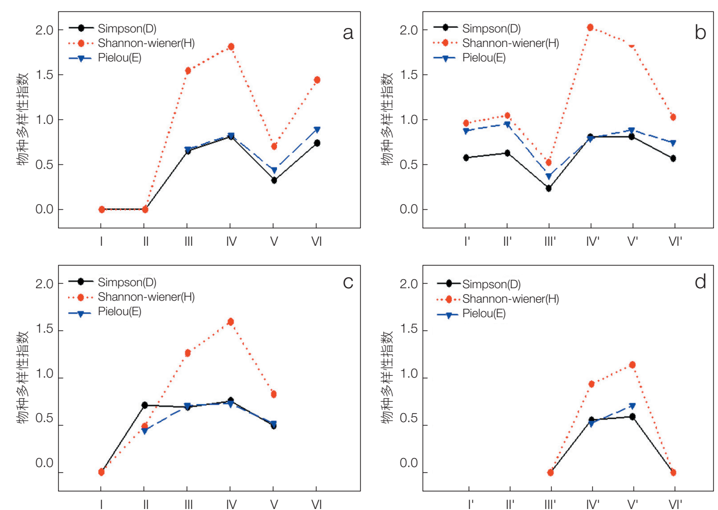


图 9　黄河三角洲新、旧河道地表植被及土壤种子库物种多样性特征

（a）新河道土壤种子库；（b）旧河道土壤种子库；（c）新河道地表植被；（d）旧河道地表植被

I—VI 代表新河道由海向陆 6 个不同植被群落，I′—VI′ 代表黄河故道由海向陆 6 个不同植被群落

在湿地修复的基础上，构建了基于微生境营造-生态服务功能提升的“盐碱地湿地生态农业”理论方法和技术模式。基于多样化的微生境组合模式营造了12个生境岛；建立“耐盐牧草-人工湿地-耐盐花卉苗木-特色产品-湿地生态农业园”综合利用模式；核心实验区面积约13公顷（图13）。该理论和技术体系既专注于提质增效和产能提升，又根植于生态环境安全与可持续发展，形成盐碱地湿地生态农业新模式，为滨海湿地生态保护与修复以及盐碱地改良与利用提供理论与技术支撑。2019年5月，新华社《瞭望》对这一模式进行了报道，认为“这一将保护与发展相结合的探索，高度契合了东营现实发展的需要”[19]。依托该技术模式，黄河三角洲站承担了东营市东八路湿地生态修复项目，修复河岸带退化湿地13公里，应用推广113公顷。

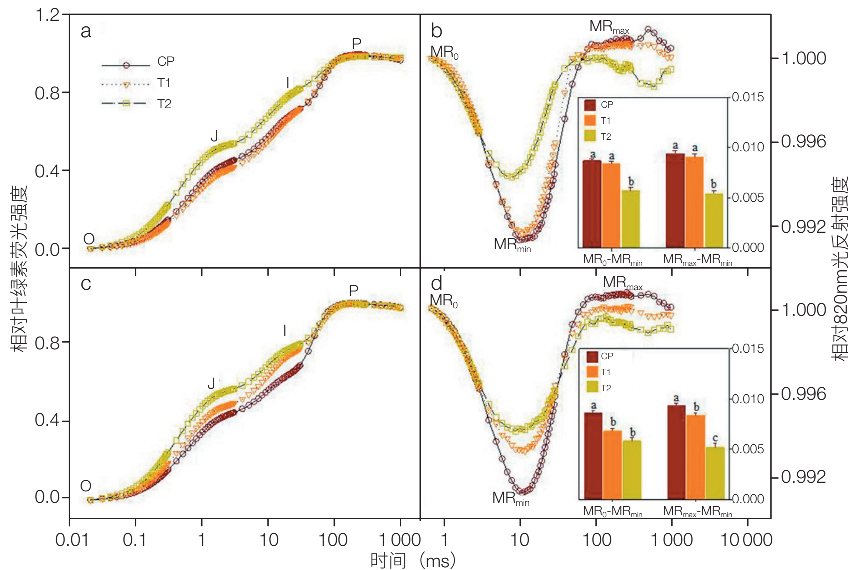
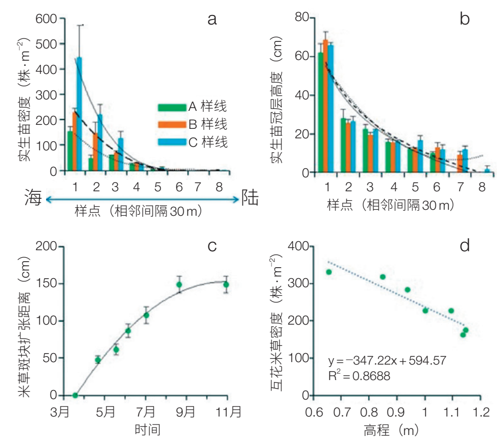


图10　淹水胁迫对植物光合作用的影响

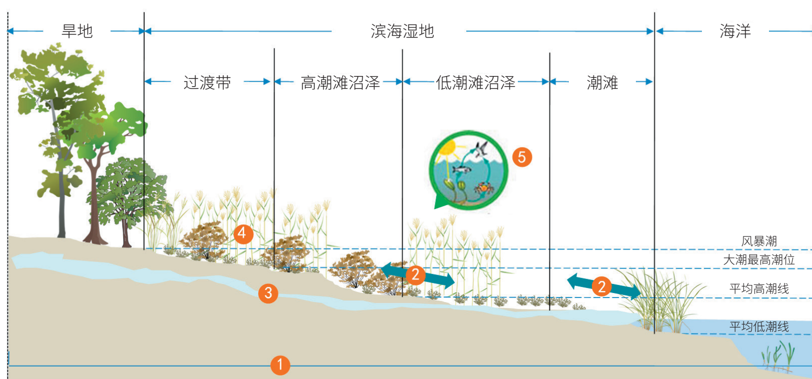
（a）7天情况下，淹水胁迫对叶绿素荧光强度的影响；（b）7天情况下，淹水胁迫对820 nm光反射强度的影响；（c）9天情况下，淹水胁迫对叶绿素荧光强度的影响；（d）9天情况下，淹水胁迫对820 nm光反射强度的影响；CP为对照，T1为淹水深度没过培养基质5 cm，T2为淹水深度超过培养基质5 cm；O、J、I、P分别表述叶绿素荧光曲线的特征位点；MR_0–MR_{min}和MR_{max}–MR_{min}表示820 nm光反射的变化幅度



e
海草床
互花米草
米草治理示范区
盐地碱蓬

图12　互花米草扩散过程和治理示范区

（a）实生苗密度在由海向陆方向的变化；（b）实生苗冠层高度在由海向陆方向的变化；（c）米草斑块向外扩张的累计距离；（d）互花米草密度随高程的变化；（e）互花米草治理示范区



健康滨海湿地模式图

1 背景　**决定了湿地中的约束和机会。**本地植物物种、鱼类和迁徙鸟类生长在特定的环境和气候条件下

2 过程　**以动态的方式创造和维持湿地。**径流通过沉积物来维持沼泽；潮汐创造海滨湿地植被的带状分布

3 连通性　**使物质运移和生物迁徙。**湿地景观网络和水系网络为生物从陆地向海洋迁移提供了通道

4 异物质性和多样性　**为湿地野生动物提供了一系列栖息地选择。**不同植被群落和不同水深环境提供了多样的栖息地环境和类型

5 食物网　**决定湿地的生态系统稳定性。**一般情况下食物网越复杂，湿地生态系统稳定性越高

图11　健康滨海湿地模式图

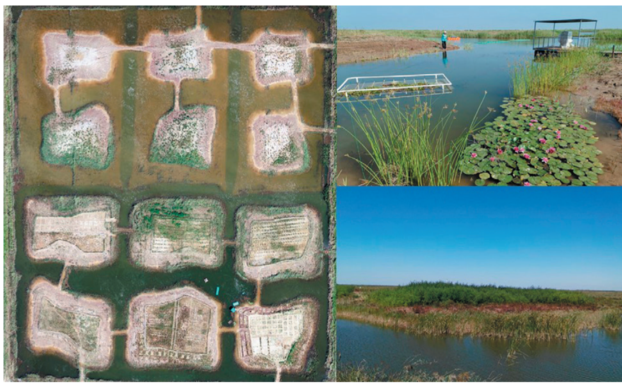


图 13　盐碱地湿地生态农业示范区

5 结语

黄河三角洲站成立10年来，主持承担了国家重点研发计划重点专项项目、国家科技支撑计划项目、国家自然科学基金、中国科学院重点部署项目等100多个项目。在滨海湿地物质运移的动力学机制、滨海湿地生态系统稳定性及影响机制、退化滨海湿地生态修复和生物多样性保护技术与示范、滨海湿地保护与合理利用对策研究等方面取得了重要进展。10年来，黄河三角洲站从无到有，从小到大，到初具规模，为黄河三角洲湿地生态保护与修复提供基础数据、科学依据和关键技术，弥补了我国特别是北方河口三角洲湿地长期观测研究的不足，为提升我国滨海与河口湿地研 究的理论水平和促进区域可持续发展提供支撑平台，实现了华丽蝶变。

2019年9月18日，习近平总书记在郑州主持召开黄河流域生态保护和高质量发展座谈会时指出，“下游的黄河三角洲是我国暖温带最完整的湿地生态系统，要做好保护工作，促进河流生态系统健康，提高生物多样性”。在“黄河流域生态保护和高质量发展”重大国家战略的指导下，黄河三角洲站在未来的观测研究中，将从全流域的视角加强陆海河相互作用对河道和湿地生态系统健康的影响研究，拓展滨海湿地生态过程数据库与模型研究及应用，加强滨海湿地结构与功能调控机理的联网实验研究，为我国滨海湿地保护、资源利用、生态建设、减灾防灾作出基础性、战略性、前瞻性的科技创新贡献。

参考文献

1 Barbier E B, Koch E W, Silliman B R, et al. Coastal ecosystem-based management with nonlinear ecological functions and values. Science, 2008, 319: 321-323.

2 Wei S Y, Han G X, Chu X J, et al. Effect of tidal flooding on ecosystem CO_2 and CH_4 fluxes in a salt marsh in the Yellow River Delta. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2020, 232: 106512.

3 Han G X, Chu X J, Xing Q H, et al. Effects of episodic flooding on the net ecosystem CO_2 exchange of a supratidal wetland in the Yellow River Delta. Journal of Geophysical Research-Biogeosciences, 2015, 120(8): 1506-1520.

4 Chu X J, Han G X, Xing Q H, et al. Dual effect of precipitation redistribution on net ecosystem CO_2 exchange of a coastal wetland in the Yellow River Delta. Agricultural and Forest Meteorology, 2018, 249: 286-296.

5 Chu X J, Han G X, Xing Q H, et al. Changes in plant biomass induced by soil moisture variability drive inter annual variation in the net ecosystem CO_2 exchange over a reclaimed coastal wetland. Agricultural and Forest Meteorology, 2019, 264: 138-148.

6 Han G X, Sun B Y, Chu X J, et al. Precipitation events reduce soil respiration in a coastal wetland based on four-year continuous field measurements. Agricultural and Forest Meteorology, 2018, 256-257: 292-303.

7 Han G X, Luo Y Q, Li D J, et al. Ecosystem photosynthesis regulates soil respiration on a diurnal scale with a short-term time lag in a coastal wetland. Soil Biology and Biochemistry, 2014, 68: 85-94.

8 于君宝, 周迪, 韩广轩, 等. 黄河三角洲滨海湿地营养元素生物地球化学过程. 北京: 科学出版社, 2018.

9 Yu J B, Fu Y, Li Y, et al. Effects of water discharge and sediment load on evolution of modern Yellow River Delta, China, over the period from 1976 to 2009. Biogeosciences, 2011, 8(9): 2427-2435.

10 韩广轩, 王光美, 毕晓丽, 等. 黄河三角洲滨海湿地演变机制与生态修复. 北京: 科学出版社, 2018.

11 Zhang L W, Mi X C, Shao H B. Phylogenetic relatedness influences plant interspecific interactions across stress levels in coastal ecosystems: A meta-analysis. Estuaries and Coasts, 2016, 39(6): 1669-1678.

12 Zhang L W, Wang B C, Qi L B, et al. Phylogenetic relatedness, ecological strategy, and stress determine interspecific interactions within a salt marsh community. Aquatic Sciences, 2017, 79(3): 587-595.

13 Guan B, Xie B H, Yang S S, et al. Effects of five years' nitrogen deposition on soil properties and plant growth in a salinized reed wetland of the Yellow River Delta. Ecological Engineering. 2019, 136: 160-166.

14 Liu X L, Wang G M, Ran Y N, et al. Overall supply level, not the relative supply of nitrogen and phosphorus, affects the plant community composition of a supratidal wetland in the Yellow River Delta. Science of the Total Environment, 2019, 695: 133866.

15 Guan B, Chen M, Elsey-Quirk T, et al. Soil seed bank and vegetation differences following channel diversion in the Yellow River Delta. Science of the Total Environment. 2019, 693: 133600.

16 Yan K, Bian T T, He W J, et al. Root abscisic acid contributes to defending photoinibition in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) under Salt Stress. International Journal of Molecular Sciences. 2018, 19: 3934.

17 Yan K, Zhao S J, Cui M X, et al. Vulnerability of photosynthesis and photosystem I in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) exposed to waterlogging. Plant Physiology and Biochemistry, 2018, 125: 239-246.

18 Xie B H, Han G X, Qiao P Y, et al. Effects of mechanical and chemical control on invasive *Spartina alterniflora* in the Yellow River Delta, China. Peer J, 2019, 7: e7655.

19 冯瑛冰, 王仁贵, 吴书光. 黄河入海处的保护和发展. 瞭望, 2019, (18): 18-21.

Long-term Ecological Research Support Protection of Coastal Wetland Ecosystems

HAN Guangxuan SONG Weimin LI Peiguang WANG Xiaojie WANG Guangmei CHU Xiaojing
(Yellow River Delta Ecology Research Station of Coastal Wetland, Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, China)

Abstract Coastal wetlands have high community diversity and species abundance, serve as important habitats for fishes to spawn, feed and overwinter and for birds to feed, perch and breed, which has identified coastal wetlands as being the most valuable ecosystem type in terms of ecosystem services. However, coastal wetlands have become ecologically fragile ecosystems because of increasing human activities, leading them one of the most sensitive areas to climate change. By focusing on national strategic technology plans for environmental protection and ecological construction of coastal wetlands in China, The Yellow River Delta Ecology Research Station of Coastal Wetland of Chinese Academy of Sciences (YRDS) has carried out many research projects on the environmental protection and restoration of coastal wetlands in the context of land-sea interaction processes and sustainable development. YRDS quantified

the current status, dynamics and driving mechanisms of carbon sink in coastal wetlands, and clarified the impacts of hydrological processes and soil water-salt migration on carbon cycle processes of coastal wetlands by field long-term monitoring and manipulation experiments. YRDS revealed the response and adaptation mechanisms of ecosystem structure and functioning of coastal wetlands to climate change and human activities, and is leading the research on the response of coastal wetlands to climate change. YRDS constructed a technical system and developed key technologies for ecological restoration of degraded coastal wetlands, proposed a theoretical and technical model of "healthy coastal wetlands" to achieve a coordinated development of protection and utilization, which have promoted the advancement of coastal wetland ecology research with regional characteristics. These researches have not only filled gaps in long-term observation and research of coastal wetlands in China, especially in the northern estuary delta, by providing fundamental data, scientific basis and key technologies for the ecological protection and restoration of coastal wetlands in the Yellow River Delta, but also provided an important supporting platform for improving the theoretical research and regional sustainable development in the field of coastal wetlands.

Keywords coastal wetland ecosystem, long-term monitoring research, carbon sink, water and salt migration, ecological restoration



韩广轩 中国科学院烟台海岸带研究所研究员、博士生导师。中国科学院海岸带环境过程与生态修复重点实验室主任，山东省海岸带环境过程重点实验室主任，中国科学院黄河三角洲滨海湿地生态试验站站长，中国生态学会长期生态学专业委员会委员，中国生态学会湿地生态专业委员会副秘书长。主要从事滨海湿地生态学，特别是滨海湿地碳循环与碳收支、滨海湿地生态系统演变与生态修复等方面的研究工作。主持国家重点研发计划项目、中国科学院重点部署项目、中国科学院科技服务网络计划项目、国家自然科学基金项目等10余项。出版专著3部，发表论文60余篇，其中SCI论文30余篇。E-mail: gxhan@yic.ac.cn

HAN Guangxuan Principle Investigator and Ph.D. supervisor of Yantai Institute of Coastal Zone Research (YIC), Chinese Academy of Sciences (CAS), and the director of Key Laboratory of Environmental Process and Ecological Restoration of Coastal Zone and the director of the Yellow River Delta Ecology Research Station of Coastal Wetland in YIC, CAS. He is the director of Key Laboratory of Environmental Process of Coastal Zone of Shandong Province, member of the Committee of Long-term Ecology and the Under-Secretary-General of the Committee of Wetland Ecology of the Ecology Society of China (ESC). He has been working in the field of coastal wetland ecology, especially focusing on the key processes of carbon cycle, evolution and ecological restoration of coastal wetlands. He has presided more than 10 research projects, including National Key Research & Development Projects, Key Deployment Projects of CAS, Science and Technology Service Network Initiative of CAS, and the projects of National Natural Science Foundationof China. He has published 3 books, and published more than 60 papers in peer reviewed journals including over 30 SCI indexed papers. E-mail: gxhan@yic.an.cn

■责任编辑：张帆